

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ターミナル <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
H 0 1 S 3/30		H 0 1 S 3/30	Z 5 F 0 7 2
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J 5 K 0 0 2
10/16			E
H 0 4 J 14/00			

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-125330

(22) 出願日 平成11年4月30日 (1999.4.30)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 増田 浩次

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 CA15 DA10 HA23

5F072 AK06 JJ20 KK11 PP07 QQ07

RR01 YY17

5K002 AA06 BA04 BA05 BA13 CA01

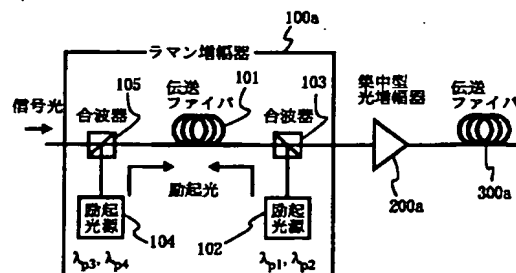
CA13 DA02

(54) 【発明の名称】 分布増幅型ファイバラマン増幅器を用いた光ファイバ通信システム

## (57) 【要約】

【課題】 分布増幅型ファイバラマン増幅器を用いた光ファイバ通信システムにおいて、光 SN R が波長依存性を有するという欠点を解決する。

【解決手段】 分布増幅型ファイバラマン増幅器100aと集中型光増幅器200aを用いた光ファイバ通信システムにおいて、分布増幅型ファイバラマン増幅器100aは、伝送ファイバ101と、伝送ファイバ101の信号光入射側および出射側に、それぞれ合波器105、103と合波器105、103に励起光を入力する励起光源104、102とを備え、入射側の励起光源104の励起光波長 $\lambda_{p3}$ 、 $\lambda_{p4}$ を、出射側の励起光源103の励起光波長 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ より短波長側に配置し、励起光源104、102からの励起光を、合波器105、103を用いて伝送ファイバ101に入力し、伝送ファイバ101に入射した信号光を伝送ファイバ101中でラマン増幅した後、集中型光増幅器200aを用いて増幅する構成とした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 分布増幅型ファイバラマン増幅器と集中型増幅器を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記分布増幅型ファイバラマン増幅器は、伝送ファイバと、該伝送ファイバの信号光入射側および出射側に、それぞれ合波器と該合波器に励起光を入力する励起光源とを具備し、前記入射側の励起光源の励起光波長を、前記出射側の励起光源の励起光波長より短波長側に配置し、前記励起光源からの励起光を、前記合波器を用いて前記伝送ファイバに入力し、前記伝送ファイバに入射した信号光を前記伝送ファイバ中でラマン増幅した後、前記集中増幅器を用いて増幅する構成としたことを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項2】 分布増幅型ファイバラマン増幅器と集中型増幅器を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記分布増幅型ファイバラマン増幅器は、伝送ファイバと、該伝送ファイバの信号光入射側または出射側に、合波器と該合波器に励起光を入力する励起光源とを具備し、前記励起光源の励起光波長を、複数に設定し、該複数の励起光波長のうち短波長側の励起光波長の励起光パワーを長波長側の励起光波長の励起光パワーよりも大きくし、前記励起光源からの励起光を、前記合波器を用いて前記伝送ファイバに入力し、前記伝送ファイバに入射した信号光を前記伝送ファイバ中でラマン増幅した後、前記集中増幅器を用いて増幅する構成としたことを特徴とする光ファイバ通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分布増幅型ファイバラマン増幅器を用いた光ファイバ通信システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】波長多重(WDM)システムで用いられる、従来の技術の分布増幅型ファイバラマン増幅器(簡単のため以降「ラマン増幅器」と呼ぶ)を用いた光ファイバ通信システムの基本構成を図16に示す(参考文献: H. Masuda, S. Kawai, K.-I. Suzuki, and K. Aida, "75-nm 3-dB gain-band optical amplification with erbium-doped fluoride fibre amplifiers and distributed Raman amplifiers in 9 x 2.5 Gb/s WDM transmission experiment," Proc. of European Conference on Optical Communications, 1997, Vol. 3, pp. 73-76)。ラマン増幅器100は伝送ファイバ101を利得媒体として用い、励起光源102と合波器103を用いて後方向励起している。励起光波長は一般に単一波長あるいは多波長であるが、図16は、簡単のため2波長の場合を示している。

【0003】ラマン増幅器100の後方に集中型の光増幅器200が設置され、これら2つの増幅器で信号光を増幅している。この集中型光増幅器200は、エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)などの希土類添加ファイバ増幅

器、半導体レーザ増幅器(SLA)、集中型ラマン増幅器などであり、一般に、内部に利得等化器を有する。集中型光増幅器を出た信号光は、第2の伝送ファイバ300に入射するが、この第2の伝送ファイバ300は、ラマン増幅器100と同様の構成を有する第2のラマン増幅器(簡単のため図16において省略した)の一部である。図16の構成は、ラマン増幅器100と集中型光増幅器200からなるハイブリッドな光増幅器を線形中継光増幅器として用いた例であるが、前記の第2伝送ファイバ300を光受信器に置き換えれば、明らかに、前置光増幅器として前記ハイブリッド光増幅器を用いることが可能である。

【0004】図16の従来技術における信号光利得スペクトル特性を図17に示した。ラマン内部利得、集中型光増幅器の外部利得およびそれらの和であるトータル利得が示されている。ここで、トータル利得が伝送路損失につりあったとき、1中継区間の利得はゼロである。トータル利得値は、 $G_0$ に平坦化されている。その平坦利得波長域の短波側および長波側の波長を、それぞれ $\lambda_{s1}$ および $\lambda_{s2}$ とする。また、2つの励起光波長の長波側および短波側の波長を、それぞれ $\lambda_{p1}$ および $\lambda_{p2}$ とする。このとき、 $\lambda_{p1}$ と $\lambda_{s2}$ の波長間隔は1.5  $\mu$ m近傍で約100 nmである。

【0005】図16の従来技術における光信号対雑音比(SNR)スペクトル特性を図18に示した。信号光波長 $\lambda_{s2}$ における光SNRの値を $R_0$ とする。伝送ファイバ中でラマン利得が存在するため、分布ラマン利得が大きいほど光SNRが大きくなり、ひいては中継伝送距離の伸長が図れる。分布ラマン利得が波長依存であるため、光SNRが波長依存のスペクトルを示している。したがって、波長すなわちチャネルごとに中継伝送距離が異なるという不具合が生じる。例えば、光SNRの値は、短波側の波長 $\lambda_{s1}$ で最も小さく、一般に、この波長に近いチャネルの中継伝送距離が最も短い。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、上述した従来の光ファイバ通信システムの、光SNRが波長依存性を有するという欠点を解決した、分布増幅型ファイバラマン増幅器を用いた光ファイバ通信システムを提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1記載の発明は、分布増幅型ファイバラマン増幅器と集中型増幅器を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記分布増幅型ファイバラマン増幅器は、伝送ファイバと、該伝送ファイバの信号光入射側および出射側に、それぞれ合波器と該合波器に励起光を入力する励起光源とを具備し、前記入射側の励起光源の励起光波長を、前記出射側の励起光源の励起光波長より短波長側に配置し、前記励起光源からの励起光を、前記合波器を用いて前記伝送ファイバに入力し、前記伝送ファイバに

入射した信号光を前記伝送ファイバ中でラマン増幅した後、前記集中増幅器を用いて増幅する構成としたことを特徴としている。

【0008】また、請求項2記載の発明は、分布増幅型ファイバラマン増幅器と集中型増幅器を用いた光ファイバ通信システムにおいて、前記分布増幅型ファイバラマン増幅器は、伝送ファイバと、該伝送ファイバの信号光入射側または出射側に、合波器と該合波器に励起光を入力する励起光源とを具備し、前記励起光源の励起光波長を、複数に設定し、該複数の励起光波長のうち短波長側の励起光波長の励起光パワーを長波長側の励起光波長の励起光パワーよりも大きくし、前記励起光源からの励起光を、前記合波器を用いて前記伝送ファイバに入力し、前記伝送ファイバに入射した信号光を前記伝送ファイバ中でラマン増幅した後、前記集中増幅器を用いて増幅する構成としたことを特徴としている。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。本発明による光ファイバ通信システムの、双方向励起の場合における基本構成を図1に示した。なお、図1において、図16に示すものと同一の構成には同一の符号を付けて説明を省略する。図1に示す光ファイバ通信システムは、図16の従来技術に比べて、ラマン増幅器100a内にラマン増幅用の励起光源が1個追加されている点が大きく異なる。この励起光源104の励起光波長は一般に単一波長あるいは多波長であるが、図1は、簡単のため2波長の場合を示している。励起光源104の波長を $\lambda_{p3}$ および $\lambda_{p4}$ とする。励起光源104からの励起光は合波器105により、伝送ファイバ101に前方向から入射している。

【0010】なお、上記の構成においては、入射側の励起光源104で発生される励起光波長 $\lambda_{p3}$ 、 $\lambda_{p4}$ が、出射側の励起光源102の励起光波長 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ より短波長側に配置されている。また、励起光源104からの各励起光のパワーは、励起光源102からの各励起光のパワーよりも小さくなるように設定されている。また、図1の集中型光増幅器200aは、図16の集中型光増幅器200と同様に構成されるものであるが、後述するように図16のものに比べて利得の設定値が異なっている。また、第2の伝送ファイバ300aは、図16の集中光増幅器300と同様にし

て、本発明によるラマン増幅器100aと同様な構成のラマン増幅器の一部として、あるいは、ラマン増幅器100と同様な構成のラマン増幅器の一部として構成されるものである。

【0011】図1の本発明における信号光利得スペクトル特性を図2に示した。ラマン内部利得、集中型光増幅器の外部利得、およびそれらの和であるトータル利得が示されている。トータル利得値は、 $G_0$ に平坦化されている。追加励起光の2波長の長波側および短波側の波長を、それぞれ $\lambda_{p3}$ および $\lambda_{p4}$ とする。追加励起光によ

り、信号光帯域( $\lambda_{s1}$ から $\lambda_{s2}$ )内の短波長域でのラマン利得が増加している。集中型光増幅器200aの利得は、そのラマン利得の増加分だけ減少させている。

【0012】図1の本発明における光SNRスペクトル特性を図3に示した。光SNRが、信号光波長 $\lambda_{s2}$ 以外の波長域において、ピーク値 $R_0$ に向上している。図2のラマン利得スペクトルは平坦ではないが、図3の光SNRスペクトルは平坦になっている。これは、前方向励起と後方向励起では、同一利得で、前方向励起の方が光SNRの向上が大きいためである。上記のように、光SNRの波長依存性が平坦化され、前記の従来技術における欠点が解決されている。

【0013】図4は、図16の従来技術における励起光パワースペクトルを示している。波長 $\lambda_{p1}$ および $\lambda_{p2}$ におけるパワーを $P_0$ とする。このとき、図1の本発明における励起光パワースペクトルは図5のようになる。双方向励起配置のため、前方向励起光と後方向励起光の間のラマン増幅作用は少なく、前方向および後方向の励起光パワーは、前方向および後方向のラマン利得値(dB単位)にほぼ比例する。したがって、図2のラマン利得スペクトルは、図5の励起光パワースペクトルにより実現される。

【0014】本発明による光ファイバ通信システムの、片方向励起(または後方向励起)の場合における基本構成を図6に示した。図16の従来技術に比べて、励起光源102bの励起光波長数が、2から4に増えている点が異なる。以下では、後方向励起の場合について述べているが、前方向励起の場合にも同様のことが言える。

【0015】図6に示すラマン増幅器100bは、上述したように図16のラマン増幅器100に比べ、励起光源の励起光波長数を2から4に増やしたものであるが、追加励起光の2波長の長波側および短波側の波長はそれぞれ $\lambda_{p3}$ および $\lambda_{p4}$ である。ここで、励起光源102bの各励起光波長は、 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ 、 $\lambda_{p3}$ 、 $\lambda_{p4}$ の順に長波長側から短波長側に設定されている。また各励起光は、短波長側の励起光波長 $\lambda_{p3}$ 、 $\lambda_{p4}$ の励起光パワーが、長波長側の励起光波長 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ の励起光パワーよりも大きくなるように設定されている。また、図6の集中型光増幅器200bおよび伝送ファイバ300bは、それぞれ図16の集中型光増幅器200および伝送ファイバ300と同様に構成されているものである。

【0016】図6の本発明における信号光利得スペクトル特性を図7に示した。ラマン内部利得、集中型光増幅器の外部利得、およびそれらの和であるトータル利得が示されている。トータル利得値は、 $G_0$ に平坦化されている。4つの励起光により、ラマン利得スペクトルが信号光帯域( $\lambda_{s1}$ から $\lambda_{s2}$ )内で平坦化されている。集中型光増幅器200bの利得は、そのラマン利得の増加分だけ減少させている。

【0017】図6の本発明における光SNRスペクトル

特性は、図3と同様である。ラマン利得スペクトルが平坦であるため、光SNRスペクトルも平坦になっている。

【0018】図8は、図6の本発明における励起光パワースペクトルを示している。片方向励起配置のため、波長間隔が離れた励起光間のラマン増幅・吸収作用があり、短波長の励起光から長波長の励起光にエネルギーが移行する。そのため、入力励起光パワーは、図8に示したように、短波長の励起光が大きく、長波長の励起光で小さく設定する。

【0019】上記のように、本発明の双方向励起または片方向励起の構成により、光SNRスペクトルが平坦化された光ファイバ通信システムが得られる。

【0020】

【実施例】次に、上述した本発明による光ファイバ通信システムの各実施形態の実施例について、双方向励起の場合を第1実施例、および片方向励起の場合を第2実施例としてそれぞれ説明する。

【0021】【第1実施例】図9は本発明の第1実施例の構成を示している。双方向励起の場合であり、伝送ファイバ101、300aとして80kmの分散シフトファイバ(DSF)、集中型光増幅器200aとしてEDFAを用いている。ラマン増幅器100aの励起光源102、104は複数の半導体レーザーダイオード(LD)であり、励起光波長は、後方向励起光源102で1.51、1.49 $\mu\text{m}$ 、前方向励起光源104で1.45、1.43 $\mu\text{m}$ である。

【0022】本実施例を用いて得られた利得スペクトルを図10に示した。トータル利得の平坦利得値として、1.53-1.61 $\mu\text{m}$ の信号光波長帯で20dBが得られている。ラマン利得のピーク値は約12dB、EDFA利得のピーク値は約15dBである。本実施例を用いて得られた光SNRスペクトルを図11に示した。光SNRの平坦値として、1.53-1.61 $\mu\text{m}$ の信号光波長帯で30dBが得られている。本実施例における励起光パワースペクトルを図12に示した。1.51、1.49 $\mu\text{m}$ における励起光パワーが約100mW、1.45、1.43 $\mu\text{m}$ における励起光パワーが約30mWである。以上のように、本実施例により、1.53-1.61 $\mu\text{m}$ の信号光波長帯で平坦な光SNRスペクトルが得られている。

【0023】【第2実施例】図13は本発明の第2実施例の構成を示している。片方向(後方向)励起の場合であり、伝送ファイバ101、300bとして80kmの分散シフトファイバ(DSF)、集中型光増幅器200bとしてEDFAを用いている。ラマン増幅器100bの励起光源102bは複数の半導体レーザーダイオード(LD)であり、励起光波長は、1.51、1.49、1.45、1.43 $\mu\text{m}$ である。

【0024】本実施例を用いて得られた利得スペクトルを図14に示した。トータル利得の平坦利得値として、1.53-1.61 $\mu\text{m}$ の信号光波長帯で20dBが得られている。ラマン利得のピーク値は約12dB、EDFA利得のピー

ク値は約8dBである。本実施例を用いて得られた光SNRスペクトルは、図11と同様である。光SNRの平坦値として、1.53-1.61 $\mu\text{m}$ の信号光波長帯で30dBが得られている。本実施例における励起光パワースペクトルを図15に示した。1.51、1.49 $\mu\text{m}$ における励起光パワーが約20mW、1.45、1.43 $\mu\text{m}$ における励起光パワーが約200mWである。以上のように、本実施例により、1.53-1.61 $\mu\text{m}$ の信号光波長帯で平坦な光SNRスペクトルが得られている。

10 【0025】以上、実施例1および2で説明したように、本発明によれば、平坦な光SNRスペクトルが得られるという効果がある。

【0026】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、光SNRが波長依存性を低減し、平坦な光SNRスペクトルが得られるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の基本構成(双方向励起の場合)を示す図

20 【図2】 本発明の利得スペクトル特性(双方向励起の場合)を示す図

【図3】 本発明の光SNRスペクトル特性(双方向励起の場合)を示す図

【図4】 従来技術の励起光パワースペクトルを示す図

【図5】 本発明の励起光パワースペクトル(双方向励起の場合)を示す図

【図6】 本発明の基本構成(片方向励起の場合)を示す図

30 【図7】 本発明の利得スペクトル特性(片方向励起の場合)を示す図

【図8】 本発明の励起光パワースペクトル(片方向励起の場合)を示す図

【図9】 本発明の第1実施例の構成を示す図

【図10】 本発明の第1実施例の利得スペクトルを示す図

【図11】 本発明の第1実施例の光SNRスペクトルを示す図

【図12】 本発明の第1実施例の励起光パワースペクトルを示す図

40 【図13】 本発明の第2実施例の構成を示す図

【図14】 本発明の第2実施例の利得スペクトルを示す図

【図15】 本発明の第2実施例の励起光パワースペクトルを示す図

【図16】 従来技術の基本構成を示す図

【図17】 従来技術の利得スペクトル特性を示す図

【図18】 従来技術の光SNRスペクトル特性を示す図

【符号の説明】

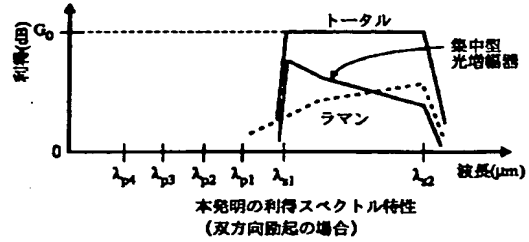
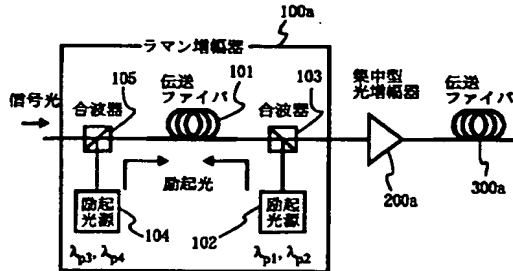
50 100、100a、100b ラマン増幅器

101, 300, 300a, 300b 伝送ファイバ  
102, 102b, 104 励起光源

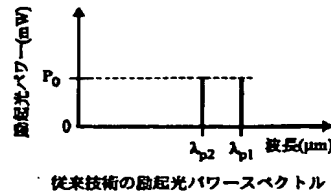
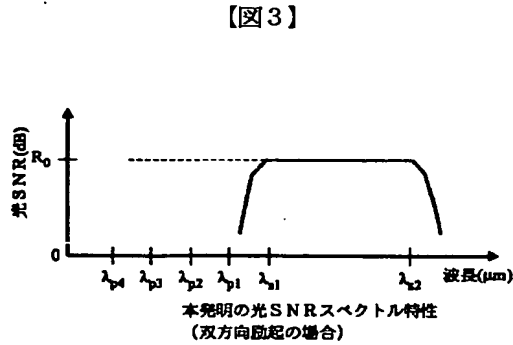
103, 105 合波器  
200, 200a, 200b 集中型光増幅器

【図1】

【図2】

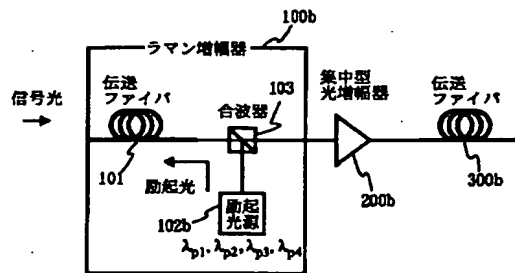
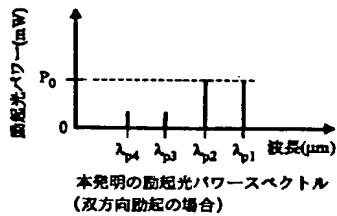


【図4】



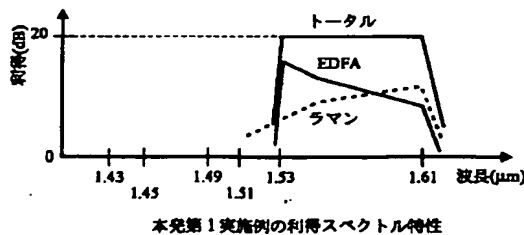
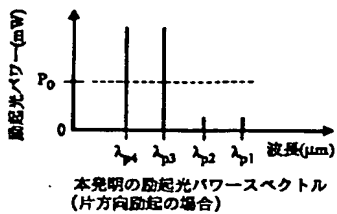
【図5】

【図6】

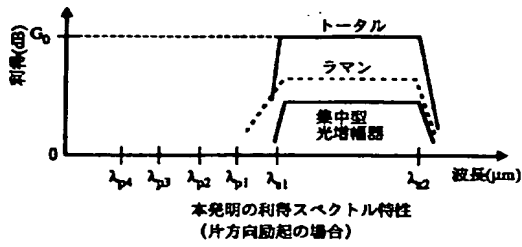


【図8】

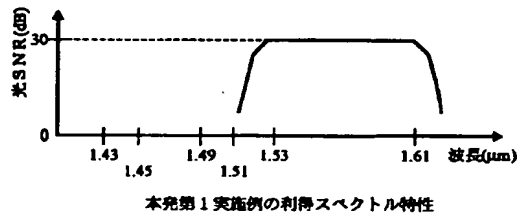
【図10】



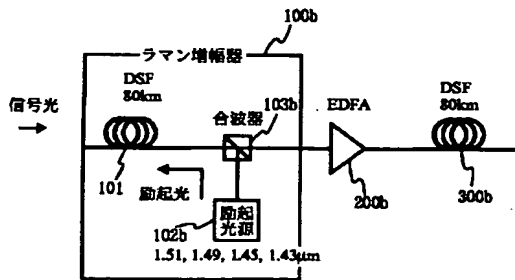
【図7】



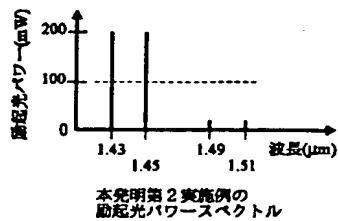
【図11】



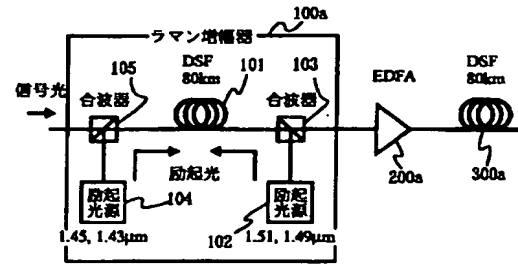
【図13】



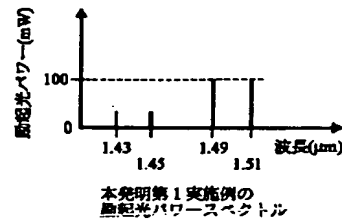
【図15】



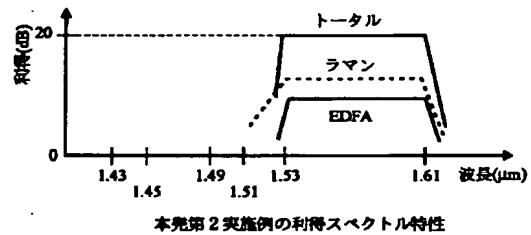
【図9】



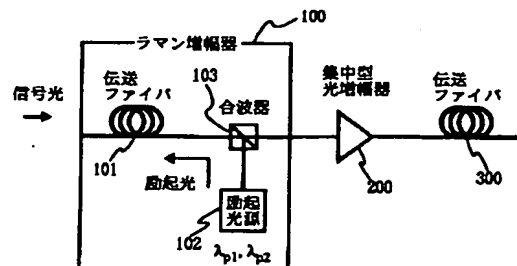
【図12】



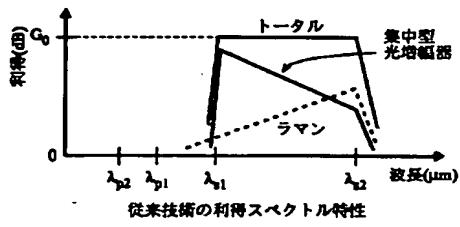
【図14】



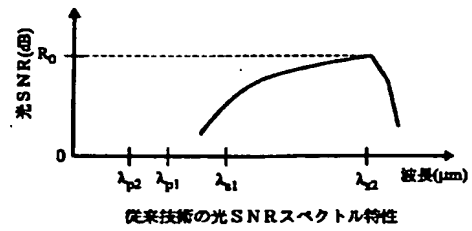
【図16】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H04J 14/02

識別記号

F I

テマード(参考)